



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 08 894 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 05 B 19/414
G 05 B 19/19

⑳ Aktenzeichen: 197 08 894.5
㉔ Anmeldetag: 5. 3. 97
㉕ Offenlegungstag: 8. 10. 98

DE 197 08 894 A 1

⑦① Anmelder:
Hermann Pfauter GmbH & Co., 71636 Ludwigsburg,
DE

⑦④ Vertreter:
Jackisch-Kohl und Kollegen, 70469 Stuttgart

⑦② Erfinder:
Ulbrich, Dieter, 74232 Abstatt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Lage- und/oder Geschwindigkeitsregelung von Achsen an einer Werkzeugmaschine sowie Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens

⑤⑦ Das Verfahren dient vorzugsweise zur Lage- und/oder Geschwindigkeitsregelung von schnell drehenden, hochgenauen Rundachsen einer Verzahnungsmaschine, wobei eine Standard-NC Verwendung findet.

Um das Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens so auszubilden, daß einerseits die Vorteile einer höheren Genauigkeit genutzt werden können und andererseits der volle Funktionsumfang der Standard-NC erhalten bleibt, wird die Regelung einer NC-Achse durch ein zweites Regelungssystem durchgeführt, das zusätzlich zu dem der Standard-NC vorgesehen und so aufgebaut ist, daß die bekannten durch Unterabtastung erzeugten Aliasing-Effekte und die Begrenzung der Dynamik durch die Zykluszeiten vermieden oder wesentlich reduziert werden. Die Vorrichtung weist zur Regelung einer NC-Achse ein zweites Regelungssystem zusätzlich zu dem der Standard-NC auf. Das zweite Regelungssystem ist so aufgebaut, daß die bekannten durch Unterabtastung erzeugten Aliasing-Effekte und die Begrenzung der Dynamik durch die Zykluszeiten vermieden oder zumindest deutlich reduziert werden.

Das Verfahren und die Vorrichtung werden zur Lage- und/oder Geschwindigkeitsregelung von schnell drehenden, hochgenauen Rundachsen einer Verzahnungsmaschine eingesetzt.

DE 197 08 894 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Lage- und/oder Geschwindigkeitsregelung von Achsen an einer Werkzeugmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 sowie eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruches 13.

Es ist bekannt, daß bei standardmäßigen numerischen Lage- und Geschwindigkeitsregelungen aufgrund der Abtastung und der Interpolation der Meßsignale für die hochauflösende Positions-/Geschwindigkeitserfassung durch Aliasing Drehungleichförmigkeiten entstehen, welche für schnelldrehende hochgenaue Achsen nicht mehr vernachlässigbar sind, und daß ferner durch die Zykluszeit die Dynamik begrenzt wird.

Es sind demgegenüber Meß- und Regelungsverfahren bekannt, welche diese Nachteile nicht aufweisen, vorzugsweise analoge oder quasianaloge Verfahren. Beispielhaft erwähnt sei hierfür der Phasenvergleich von Gebersignalen mit Sollwertsignalen gleicher Signalform. Diese sind jedoch mit dem Konzept einer Standard-NC nicht vereinbar und können ihrerseits mit vertretbarem Aufwand nicht mit dem vollen Funktionsumfang einer Standard-NC versehen werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das gattungsgemäße Verfahren und die gattungsgemäße Vorrichtung so auszubilden, daß einerseits die Vorteile der höheren Genauigkeit genutzt werden können und andererseits der volle Funktionsumfang der Standard-NC erhalten bleibt.

Diese Aufgabe wird beim gattungsgemäßen Verfahren erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruches 1 und bei der gattungsgemäßen Vorrichtung erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruches 13 gelöst.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird mindestens die Regelung einer NC-Achse durch ein zweites Regelungssystem durchgeführt, das zusätzlich zu dem der Standard-NC vorgesehen ist. Dieses zweite Regelungssystem ist so aufgebaut, daß die bekannten durch Unterabtastung erzeugten Aliasingeffekte und die Begrenzung der Dynamik durch die Zykluszeiten vermieden oder zumindest deutlich reduziert werden. Der NC-interne numerische Lagesollwert für die externe Regeleinheit wird mittels der Lageregelung in der NC in serielle Pulse oder serielle sinusförmige Signale gewandelt, indem deren Geschwindigkeitsstellgröße einen spannungsgesteuerten Generator ansteuert. Er erzeugt das gewünschte Ausgangssignal, das wieder in das für den Istwert-Eingang erforderliche Sinussignal rückgewandelt und an den Istwert-Eingang der NC-Lageregelung rückgeführt wird.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird das ergänzende Regelungssystem mit der Standard-NC verbunden und mit dem in der NC vorhandenen Lagesollwert versorgt. Dadurch werden Drehungleichförmigkeiten durch Aliasingeffekt und eine Begrenzung der Dynamik durch die Zykluszeiten vermieden oder zumindest deutlich reduziert. Gleichzeitig kann der volle Funktionsumfang der Standard-NC bezüglich der Achse weiterhin genutzt werden.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Die Erfindung wird anhand einiger in den Zeichnungen dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 in schematischer Darstellung das der Erfindung zugrundeliegende Verfahren,

Fig. 2 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 3 in schematischer Darstellung ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 4 in schematischer Darstellung ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 5 in schematischer Darstellung ein viertes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Wie in Fig. 1 schematisch dargestellt, ist in eine Vorrichtung zusätzlich zu einem standardmäßig vorhandenen Lageregelkreis 12 einer NC-Achse, welcher aus den Komponenten Antriebsverstärker 7, Motor 8, mechanische Achse 9, Positionsgeber 10 und einem in der NC 1 (Fig. 2) integrierten Soll-Ist-Vergleicher 5.1 mit Lageregler 5.2 besteht, ein ergänzendes Regelungssystem zur Bildung eines Lageregelkreises 24 installiert. Dieses Regelungssystem besteht aus den Komponenten Positionsgeber 11, welche den Lage-Istwert der Achse 9 in einer für das ergänzende Regelungssystem erforderlichen Signalform erfaßt, oder einem Wandler 25, welcher die Signale des Positionsgebers 10 in die erforderliche Signalform wandelt, sowie einem Soll-Ist-Vergleicher 19 und einem Regler 21. Ein Wandler 14 wandelt den von einem Interpolationsmodul 4 der NC 1 (Fig. 2) generierten Lage-Sollwert in eine für den Soll-Ist-Vergleicher 19 geeignete Form. Das Ausgangssignal des Soll-Ist-Vergleichers 19 wird vom Regler 21 in eine Stellgröße für den Antriebsverstärker 7 gewandelt. Entsprechend den Anforderungen an die Regelung wird über einen Umschalter 22 der Antriebsverstärker 7 auf diese Stellgröße umgeschaltet. Da die geregelte Achse nach dem Umschalten auf die Stellgröße aus dem Regler 21 weiterhin durch den jetzt geschlossenen externen Regelkreis 24 in der Sollage des Interpolationsmoduls 4 gehalten und die Ist-Lage der Achse 9 über den Positionsgeber 10 weiterhin der NC 1 zur Verarbeitung zurückgemeldet wird, hat sich für den Ablauf in der NC 1 nichts geändert. Das bedeutet, daß sämtliche Funktionen der NC 1 bezüglich der Achse 9, wie beispielsweise Überwachungsfunktionen, Absolutwertbearbeitung, Bahnsteuerung, Korrekturen usw. und somit auch bestehende NC-Programme, weiterhin genutzt werden können.

In dem ergänzenden Regelungsverfahren wird der Lage-Istwert über einen Positionsgeber mit Rechtecksignalen erfaßt und mit einem Sollwert gleicher Signalform in seiner Phasenlage zu diesem verglichen. Das entstehende analoge Differenzsignal wird zur Lage- und Geschwindigkeitsregelung verwendet. Über eine geeignete Vorrichtung wird der numerische Lagesollwert der NC in die erforderliche Signalform gewandelt. Es können jedoch auch andere Meß- und Vergleichsverfahren, welche die Aufgabe erfüllen, angewendet werden. Genannt seien sinusförmige Istwertfassung und analoger Phasenvergleich, numerische Bildung der Soll-Ist-Abweichung, usw. Entsprechend können auch andere Wandler eingesetzt werden.

Den prinzipiellen Aufbau zeigt Fig. 2 anhand eines Ausführungsbeispieles. Die üblicherweise vorhandene Struktur einer NC-geregelten Rundachse ist unter 12 dargestellt. Die zu regelnde mechanische Achse 9 ist eine Rundachse. Sie wird vom Motor 8 angetrieben. Mit dieser Achse 9 ist der Positionsgeber 10 starr verbunden. Er liefert sinusförmige Signale, welche in der Lageregeleinheit 5 zwecks hoher Auflösung der Position vielfach interpoliert werden. Der Lagesollwert wird im Interpolationsmodul 4 der NC 1, welche nur teilweise dargestellt ist, erzeugt und an die Lageregeleinheit 5 geführt. Hier wird er mit dem interpolierten Lageistwert des Positionsgebers 10 verglichen. Die Differenz wird mit geeigneten Regelfaktoren gewichtet und als analoger Geschwindigkeitsollwert an die unterlagerte Geschwindigkeitsregeleinrichtung im Antriebsverstärker 7 geleitet. Aus Genauigkeitsgründen wird für hochgenaue Geschwindigkeitserfassung üblicherweise dasselbe Meßsystem 10

verwendet wie für die Lageerfassung. Das bekannte Verfahren der Geschwindigkeitsregelung im Antriebsverstärker 7 ist nicht im Detail dargestellt. Diese übliche Anordnung hat die Nachteile, daß aufgrund der Abtastung und der Interpolation der Meßsignale für die hochauflösende Positions-/Geschwindigkeitserfassung durch Aliasing Drehungleichförmigkeiten entstehen, welche für schnelldrehende hochgenaue Achsen nicht mehr vernachlässigbar sind, und daß ferner durch die Zykluszeit die Dynamik begrenzt wird.

Erfindungsgemäß wird deshalb eine weitere Lage- oder Lage- und Geschwindigkeitsregelung hinzugefügt. Zu ihrer Ansteuerung muß der numerische Lagesollwert der NC 1 in die passende Signalform gewandelt werden. Hierfür wird in einem Interpolator 2 der NC 1 mittels bekanntem Verfahren der Getriebe-Interpolation in einem Getriebe-Interpolator 3 mit konstantem Koppelfaktor ein der Soll-Lage am Ausgang des Interpolationsmoduls 4 gleicher Lage-Sollwert erzeugt. Dieser Lagesollwert wird in einer Lageregeleinheit 13 mit einem Istwert verglichen, welcher vom Wandler 14 an den Istwerteingang der Lageregeleinheit 13 rückgeführt wird. Die Differenz wird mit geeigneten Regelfaktoren bewertet und als Stellgröße an den Wandler 14 übergeben. Im Wandler 14 wird die Stellgröße zwecks Glättung von Quantisierungssprüngen über ein Filter 15 geführt und in einem Spannungs-Frequenz-Wandler 16 zur weiteren Verarbeitung in einer ergänzenden Regelungseinheit 18 in eine serielle Pulsfolge mit Richtungsinformation gewandelt. Ein Wandlerelement 17 des Wandlers 14 wandelt diese Pulsfolge entsprechend der Spezifikation der Geberschnittstelle der Lageregeleinheit 13 wiederum in sehr reine sinusförmige Signale. Aufgrund des über die Rückführung geschlossenen Regelkreises und geeigneter Reglerparameter entspricht der vom Spannungs-Frequenz-Wandler 16 erzeugte Sollwert dem Lage-Sollwert des Interpolationsmoduls 4.

Die eigentliche Regelung der Achse 9 erfolgt in der Regelungseinheit 18. Die Position der Achse 9 wird über den zweiten Positionsgeber 11 mit rechteckförmigen Signalen erfaßt und zum Soll-Ist-Vergleicher 19 rückgeführt. Bei ausreichender Genauigkeit kann auch das Signal des Positionsgebers 10 verwendet werden, indem es in rechteckförmige Signale gewandelt wird. Der Soll-Ist-Vergleich wird im Soll-Ist-Vergleicher 19 nach dem Puls-Phasen-Vergleich durchgeführt und liefert ein mit der Lagedifferenz pulswidenmoduliertes Signal mit einer der Pulsfolge des Positionsgebers 11 proportionalen Frequenz. Mittels eines geeigneten Tiefpasses 20 werden diese weit über der Reaktionsfrequenz der Regelstrecke liegenden Frequenzanteile herausgefiltert. Die sich ergebende Lageregelabweichung wird in der Reglereinheit 21 mit geeigneten Regelfaktoren bewertet und als Stellgröße über den Umschalter 22 an den Antriebsverstärker 7 geleitet wird, falls der Umschalter 22 die entsprechende Stellung hat.

Als weitere Besonderheit kann die Geschwindigkeitsdifferenz durch analoges Differenzieren der Lageregelabweichung in der Reglereinheit 21 erzeugt und der Geschwindigkeitsregler in diese Reglereinheit 21 integriert werden. Dadurch können die oben erwähnten nachteiligen Effekte auch in der Geschwindigkeitserfassung vermieden werden. Bei Einsatz dieser Variante wird der Antriebsverstärker 7 von einer Anpaßlogik 23 auf Momentenregelung umgeschaltet.

Es gibt Verfahren des Puls-Phasen-Vergleichs, welche sich nur für einen Bereich der Frequenz des Positionsgebers 11 weit oberhalb der Reaktionsfrequenz des Regelsystems eignen. Daraus folgt, daß in diesem Falle das ergänzende Regelungssystem nicht für den Stillstand und das Anfahren der Achse 9 geeignet ist. Deshalb wird abhängig vom Prozeßzustand von der Anpaßlogik 23 über den Umschalter 22 zwischen der Stellgröße der Lageregeleinheit 5 und der

Stellgröße der ergänzenden Regelungseinheit 18 umgeschaltet. Im vorliegenden Anwendungsfall ist während der Bearbeitung hohe Drehgleichförmigkeit bei annähernd konstanter Geschwindigkeit gefordert.

Neben dem Erreichen eines besseren Regelverhaltens bietet die Erfindung die Möglichkeit, mit einfachen Mitteln über analoge Addition mit dem Eingangssignal der Reglereinheit 21 analoge Lage- und/oder Geschwindigkeits-Korrekturgrößen, beispielsweise über analoge Sensoren 27 erfaßte Größen, in Echtzeit aufzuschalten.

Da die Achse 9 nach dem Umschalten auf die Stellgröße der Regelungseinheit 18 über Getriebe-Interpolator 3, Lageregeleinheit 13, Wandler 14 und ergänzende Regelungseinheit 18 weiterhin dem Sollwert des Interpolationsmoduls 4 folgt und der Istwerteingang der Lageregeleinheit 5 den Lageistwert der Achse 9 erhält, können alle Funktionen der NC bezüglich der Achse 9, wie beispielsweise Überwachungsfunktionen, Absolutwertbearbeitung, Bahnsteuerung, Korrekturen usw. und somit auch bestehende NC-Programme, weiterhin genutzt werden.

Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform, bei welcher der numerische Lagesollwert des Interpolationsmoduls 4 dem Wandler 14 direkt zugeführt und in den Lage-Sollwert für die ergänzende Regelungseinheit 18 gewandelt wird.

Wenn das ergänzende Regelungssystem auch zum Positionieren und Anfahren der Achse geeignet ist, kann der Umschalter 22 (Fig. 1) entfallen. Das Ausgangssignal der ergänzenden Regelungseinheit 18 wird direkt an den Antriebsverstärker 7 geführt. Die Verbindung zwischen der Lageregeleinheit 5 und dem Umschalter 22 entfällt.

Ist die ergänzende Regelungseinheit 18 ein numerisch arbeitendes System, welches die geforderten Eigenschaften aufweist, so kann, wie in Fig. 5 dargestellt ist, auch der Lage-Istwert, durch den Wandler 25 in einen numerischen Wert gewandelt, direkt der Lageregeleinheit 5 der NC 1 rückgeführt werden.

Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform, die nahezu gleich ausgebildet ist wie das Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Der einzige Unterschied besteht darin, daß mit der Achse 9 ein Sensor 26 zur Messung der Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung, beispielsweise basierend auf dem Ferraris-Prinzip, verbunden ist. Das Ausgangssignal des Sensors 26 wird der Reglereinheit 21 zwecks Geschwindigkeitsregelung rückgeführt.

Patentansprüche

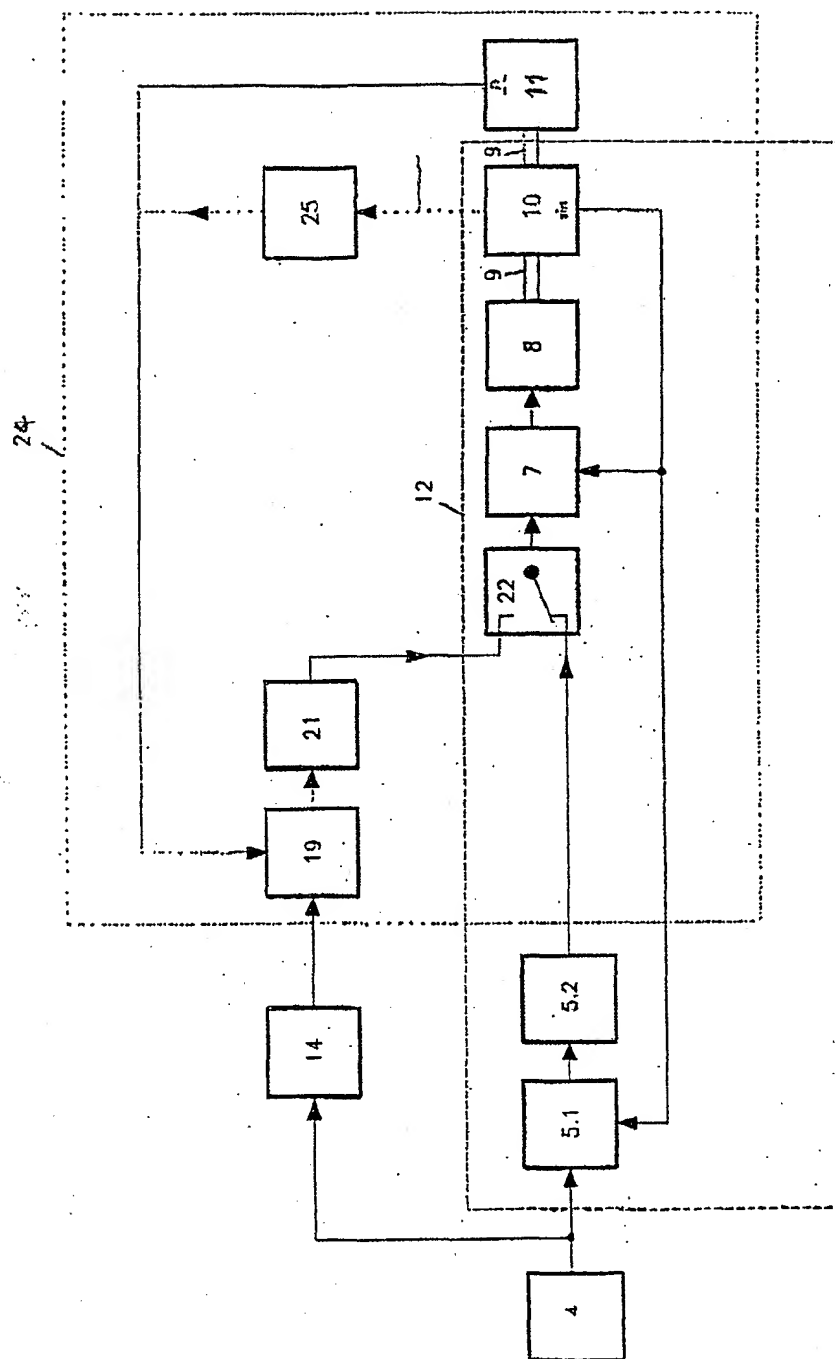
1. Verfahren zur Lage- und/oder Geschwindigkeitsregelung von Achsen an einer Werkzeugmaschine, vorzugsweise von schnelldrehenden, hochgenauen Rundachsen einer Verzahnmaschine, unter Verwendung einer Standard-NC, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens die Regelung einer NC-Achse (9) durch ein zweites Regelungssystem (18) durchgeführt wird, das zusätzlich zu dem der Standard-NC (1) vorgesehen und so aufgebaut ist, daß die bekannten durch Unterabtastung erzeugten Aliasingeffekte und die Begrenzung der Dynamik durch die Zykluszeiten vermieden oder zumindest deutlich reduziert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Lagesollwert der NC (1) für die zu regelnde Achse (9) in die für das zweite Regelungssystem (18) erforderliche Signalform gewandelt wird, daß der Lageistwert der zu regelnden Achse (9) in einer für das zweite Regelungssystem (18) erforderlichen Signalform erzeugt oder in eine solche gewandelt wird, daß über einen Soll-Ist-Vergleich die Abweichung ermittelt und daraus die Stellgröße für einen Antriebsver-

- stärker (7) der zu regelnden Achse (9) erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Istwert der Achse (9) an die NC-Regelung (12) rückgeführt wird und daß dadurch die volle Funktionalität der NC (1) bezüglich der Achse (9) weiterhin nutzbar ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Regelungssystem (18) über eine NG-Achse angesteuert wird, welche mit der von der NC (1) geregelten Achse (9) in ihrer Sollage synchronisiert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Lagesollwert für das zweite Regelungssystem (18) aus dem internen Lagesollwert nachgebildet wird, indem eine synchrone Achsenregelung einen Wandler (14) ansteuert, welcher den Lagesollwert in eine für das ergänzende Regelungssystem (18) geeignete Signalform wandelt, und indem ferner dieses Signal in die für den Istwert-Eingang der NC-Achse (9) erforderliche Form gewandelt und an diesen rückgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß für das zweite Regelungssystem (18) ein Puls-Phasen-Vergleich zur Bildung der Lagedifferenz verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß für das zweite Regelungssystem (18) ein Sinus-Phasen-Vergleich zur Bildung der Lagedifferenz verwendet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Geschwindigkeitsregelung benötigte Geschwindigkeitsdifferenz über das Verfahren des Phasen-Vergleichs mit Differentiation der Lagedifferenz gebildet wird und daß der Antriebsverstärker (7) in Momentenregelung betrieben wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß in dem ergänzenden Regelungssystem (18) dem Signal der Lagedifferenz mindestens ein analoger Lagesollwert als Lagekorrekturgröße in Echtzeit aufgeschaltet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Lagesollwert für das zweite Regelungssystem (18) direkt aus der NC (1) gelesen und in einem numerisch arbeitenden Regelungssystem (14) verarbeitet wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und 10, dadurch gekennzeichnet, daß für die Erfassung der Geschwindigkeit der zu regelnden Achse (9) ein separater Sensor (26) verwendet wird und dessen Signal in der Geschwindigkeitsregelung des ergänzenden Regelungssystems (18) verarbeitet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Regelungssystem (18) mit der NC (1) sowohl über den numerischen Sollwert als auch über einen numerischen Istwert direkt kommuniziert.
13. Vorrichtung zur Lage- und/oder Geschwindigkeitsregelung von Achsen an einer Werkzeugmaschine, vorzugsweise von schnelldrehenden, hochgenauen Rundachsen einer Verzahnmaschine, unter Verwendung einer Standard-NC, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zur Regelung einer NC-Achse (9) ein zweites Regelungssystem (18) zusätzlich zu dem der Standard-NC (1) vorgesehen ist und das so aufgebaut ist, daß die bekannten durch Unterabtastung erzeugten Aliasingeffekte und die Begrenzung der Dynamik durch die Zykluszeiten vermieden oder zumindest deutlich reduziert werden.

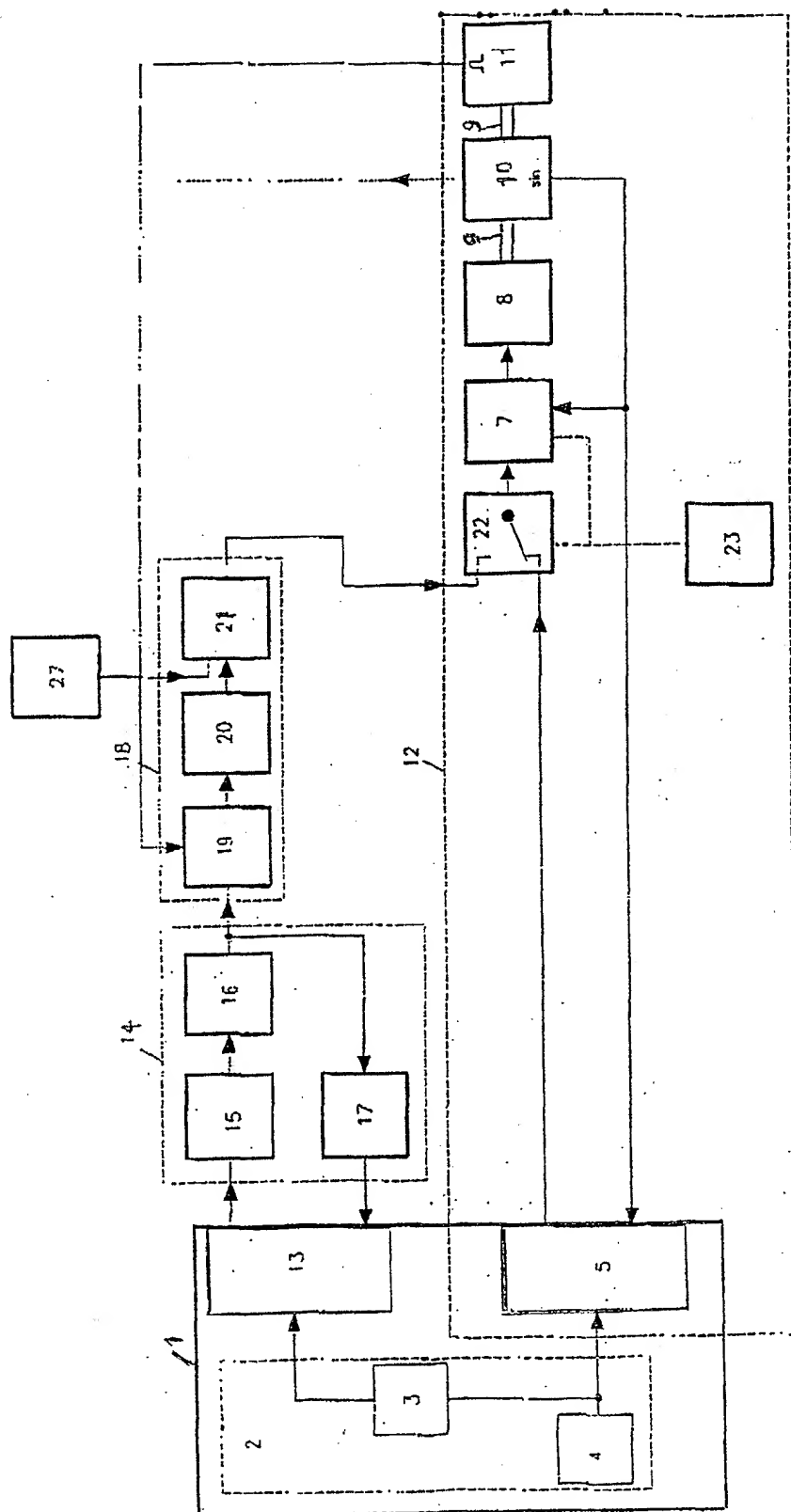
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der NC-interne numerische Lagesollwert für eine externe Regeleinheit (24) mittels der Lageregelung in der NC (1) in serielle Pulse oder serielle sinusförmige Signale gewandelt wird, indem deren Geschwindigkeitsstellgröße einen spannungsgesteuerten Generator ansteuert, welcher das gewünschte Ausgangssignal erzeugt, und indem dieses Signal wieder in das für den Istwert-Eingang erforderliche Sinussignal rückgewandelt und an den Istwert-Eingang der NC-Lageregelung rückgeführt wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

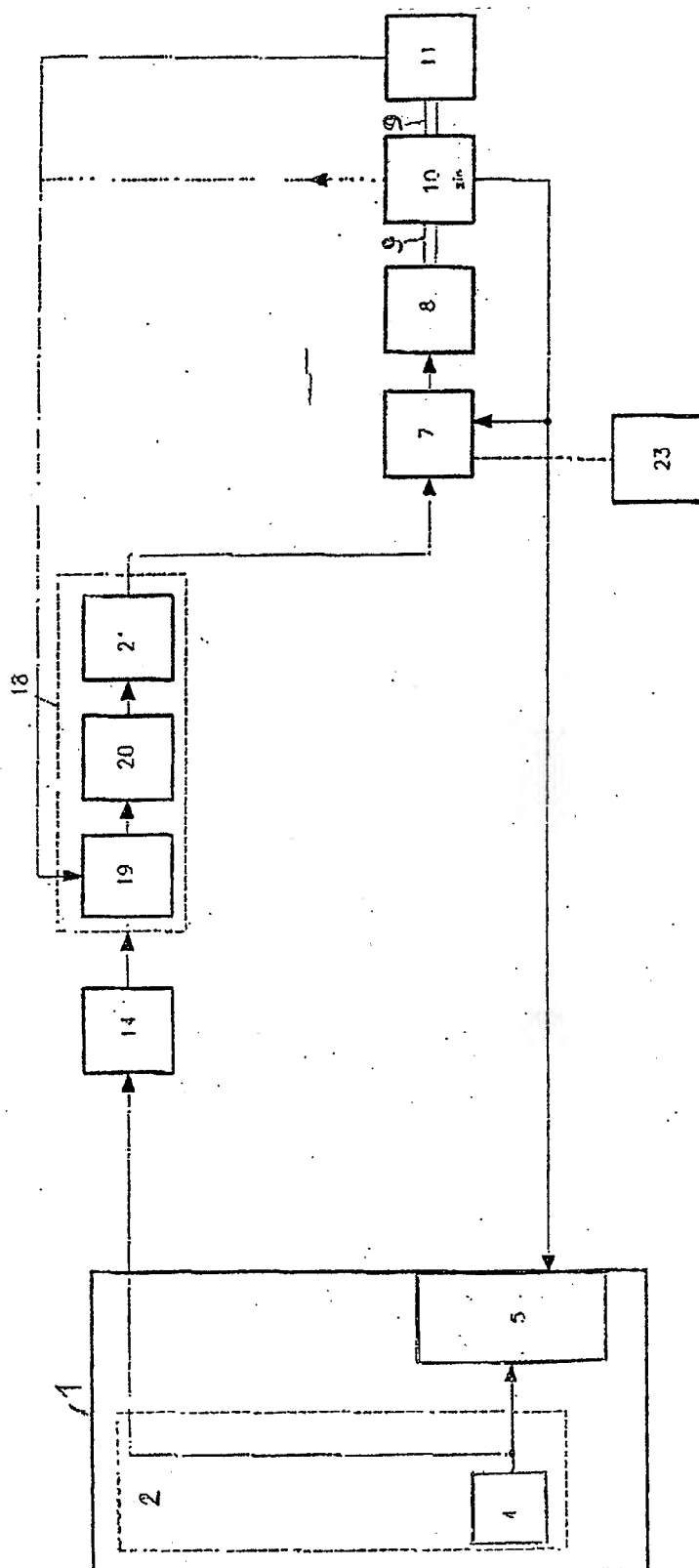
- Leerseite -



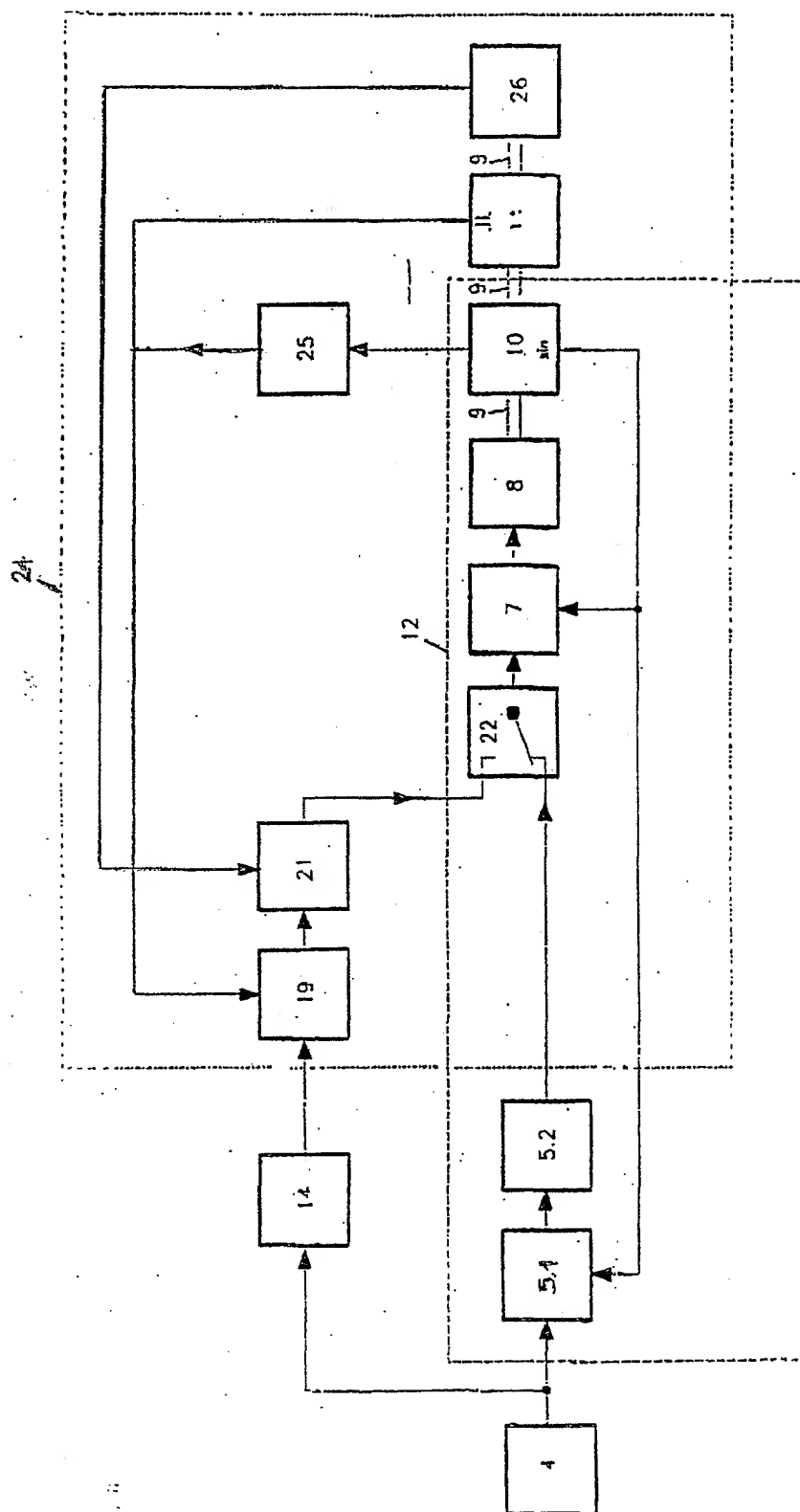
Figur 1



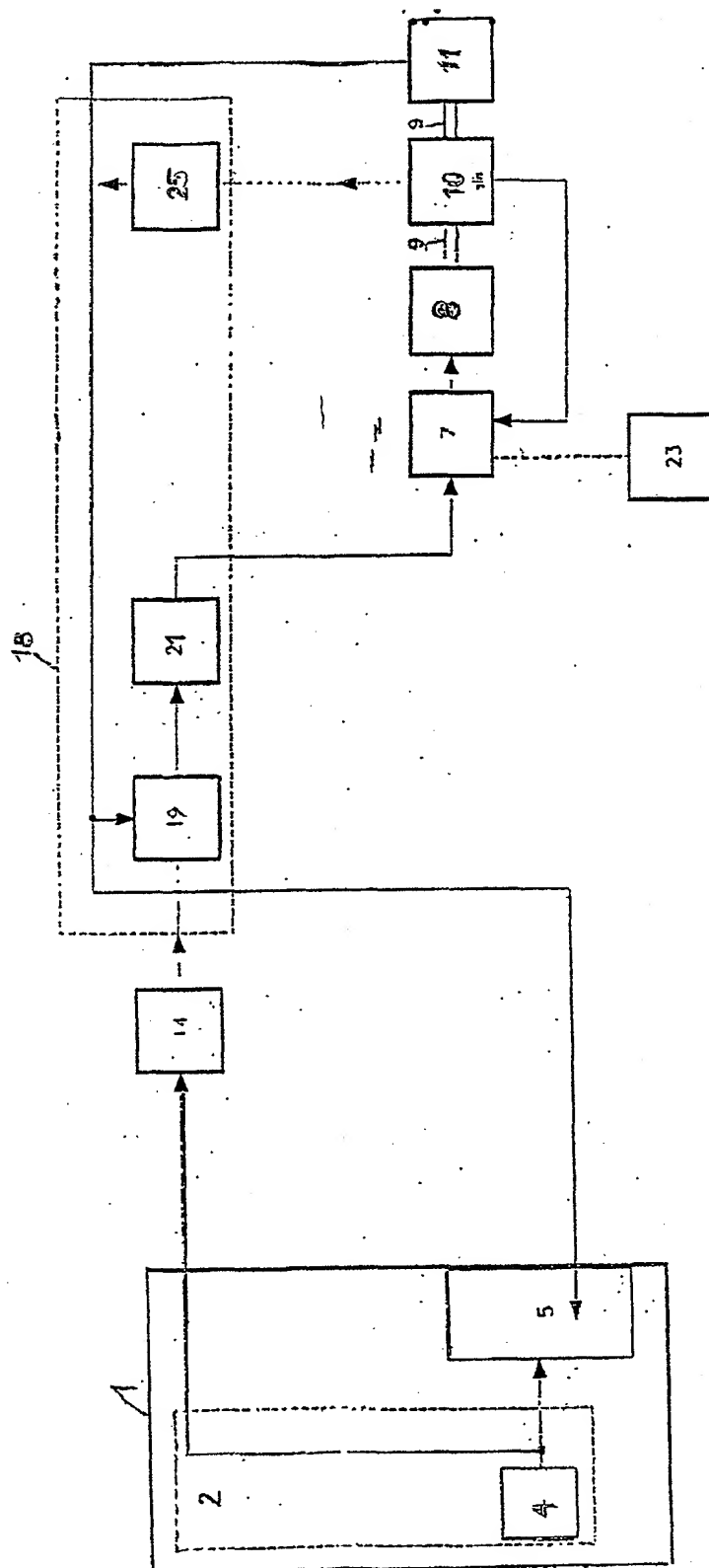
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5